

Kalászosok energiatakarékos cséplésének vizsgálatai

Láng Zoltán, BCE Műszaki Tanszék

Irodalmi áttekintés

A 20. század elején kezdődött meg az arató-cséplő gépek, más néven kombájnok fejlődéstörténete az Egyesült Államokban és Európában. A mai, legkorszerűbb gépeken is fellelhetők a térben és időben elkülönített aratás és cséplés munkafázisai. A nagy munkaszélességben történő aratás, majd töredék szélességre és néhány milliméter vastagságra tömörített anyagáram cséplése igen jelentős teljesítményt igényel. A cséplőszerkezet feleslegesen hajlítgatja, lapítja, tördeli a szalmát, hiszen a cél csupán a szemek kinyerése a kalászból. A kereskedelemben kapható gépek adatait elemezve kimutatható, hogy 1 m vágóasztal-szélességre mintegy 30 kW motorteljesítmény jut.

A fejlesztés elsősorban a cséplés és tisztítás munkaszerveire irányul annak érdekében, hogy a kombajn képes legyen az egyre nagyobb munkaszélességből és haladási sebességből adódó növekvő tömegáramot fogadni és feldolgozni.

A hagyományos koncepciótól eltérő irányzatot jelent a kalászfészülő dob, mely az aratórész kiváltására szolgál. A vízszintes helyzetű, a haladás irányára merőleges tengelyű dob palástján elhelyezett fogakban a kalászból megakadnak, s a dob forgása következtében leszakítják azokat. Ebből adódóan a cséplőszerkezetbe szalma szinte egyáltalán nem kerül, az levágatlanul marad vissza a tarlón. Az energetikai szempontból rendkívül ígéretes újítás csak szűk körben terjedt el, mert egyrészt dőlt állományban nem üzemeltethető, másrészt túlérett állományban magas kipergési veszteséget eredményez.

Japánban a rizs betakarítása soros kombájnnal történik. A gépek a levágott-felszedett sorokat fogas-ellenfogas cséplőszerkezetbe vezetik úgy, hogy szinte csak a kalászból csépelik. E gépek, bár alacsony cséplési energia-felhasználásúak, bonyolult szerkezetük, kis munkaszélességük, magas árak miatt nem versenyképesek az Egyesült Államokban és Európában.

Gabonakombajn funkcionális elemeinek hajtási teljesítményigényének meghatározására összefüggéseket állított fel Baruahé és Panesar (2004). A verőléces cséplődob esetében a teljesítményigény véleményük szerint két részből: mechanikus és légellenállásból adódik. Idézett szerzők háromféle mechanikai ellenállás különítettek el:

1. a verőlécek okozta ismételt ütések erőhatását, mely az impulzus-megmaradás elve alapján számítható
2. a termény kompressziójának erőszükségletét, mely közelítőleg úgy értelmezhető, mint rugalmas testnek erő hatására létrejövő térfogatváltozása (Mohsenin, 1980).
3. a termény továbbításához szükséges kerületi erőt, mely alapvetően a dobkosár felületén ébredő súrlódás leküzdéséhez szükséges. A kosárra merőleges erő a termény kompressziójából és a súlyerőből származik.

A forgó dobot fékező légellenállás függ a dob felületétől, alakjától, méretétől és fordulatszámától, valamint a levegő paramétereitől. Értéke egy arányossági tényező és a kerületi sebesség harmadik hatványának szorzataként számítható (Klenin *et al.*, 1985).

A cséplődob hajtásának teljes teljesítményigénye (kW) a fentiekkel:

$$P_{cy}^I = \left(\frac{25\Delta t}{324w_c\rho_0c_c t_c} \dot{m}^2 + K \frac{\Delta\rho}{\rho_i} c_c w_c + K \frac{\Delta\rho}{\rho_i} A_{cc}\mu_c + g\rho_i c_c A_{cc}\mu_c \right) u_{cy} + k_{cy}^w (u_{cy})^3 \quad (1)$$

ahol Δt a cséplőrésbe belépő anyagáram vastagságának csökkenése (m)
 \dot{m} az etetés tömegárama (t/h)

w_c a cséplődob szélessége (m)
 ρ_o is a belépő anyag halmazsűrűsége, (kg/m³)
 c_c a cséplési rés magassága (m)
 t_c a belépő terményréteg vastagsága (m)
 K a termény-tömeg rugalmassági tényezője (kPa)
 $\Delta\rho$ sűrűségnövekedéséhez (kg/m³)
 ρ_i a komprimált terménytömeg halmazsűrűsége (kg/m³)
 A_{cc} a dobkosár effektív felülete (m²)
 μ_c a kosárfelület és termény közötti súrlódási tényező
 u_{cy} kerületi sebesség (m/s)
 k_{cy}^w a légellenállás arányossági tényezője

A csépelendő terményréteg vastagságának és áramlási sebességének viszonyát vizsgálta Arnold és Lake (1964). Megállapításuk szerint lényegesen alacsonyabb teljesítményt igényel a magas áramlási sebességű vékony réteg cséplése, mint a lassú mozgású vastag rétegé. A cséplés teljesítményfelvételére felírt (1) összefüggés alátámasztja ezt a megfigyelést, mivel tartalmazza a rétegvastagságra és halmazsűrűségekre vonatkozó $\Delta t/t_c$, $\Delta\rho/\rho_i$ modell-paramétereket. A vastagabb réteg ugyanis nagyobb Δt rétegvastagság-csökkenést eredményez, ez pedig magas $\Delta\rho$ térfogatsűrűség-növekedéssel párosul.

Dolling (1957) megfigyelései szerint a kalással előre betáplált cséplés verőléces dobnál nagyobb teljesítményigényű, mint a dobtengellyel párhuzamos szárhelyzetű etetés. Ennek oka, hogy a hosszirányú szárok a cséplőrésben nagyobb K rugalmassági tényezőt eredményeznek, mint a keresztirányúak. Az (1) összefüggés igazolja Dolling tapasztalatát.

Az (1) összefüggés szerint adott tömegáram esetén a dobhajtás teljesítményigénye – eltekintve a légellenállástól - a dob u_{cy} kerületi sebességével lineárisan változik. Ezt igazolják Arnold és Lake (1964) kísérleteinek eredményei is.

Az OTKA T46621 sz. pályázat kidolgozása során a cséplés fajlagos teljesítményigényének csökkentését a fent ismertetetteltől eltérő technológiai elrendezésekkel kutattuk. Két hipotézisünket a Baruahé és Panesar (2004) által tett megállapításokkal összhangban állítottak fel:

1. hipotézis: a szokásosnál vékonyabb rétegű cséplés és magasabb anyagáramlási sebesség az (1) összefüggés értelmében alacsonyabb teljesítményszükségletet eredményez. Technikai megvalósítását teljes vágóasztal-szélességben kialakított cséplőszerkezettel képzeltük el.

2. hipotézis: közvetlen kalászcséplő szerkezetekkel vékony rétegű cséplés valósítható meg a szárok elvágása nélkül. Technikai megvalósítását teljes munkaszélességben kialakított kalászcséplő szerkezetekkel terveztük megvalósítani, így az alacsonyabb cséplési teljesítményigény mellett megtakarítható a szárvágás és terelés energiaigénye is.

Anyag és módszer

Laboratóriumi vizsgálatainkat a Budapesti Corvinus Egyetem Műszaki Tanszékének laboratóriumában végeztük. A vizsgált anyag jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.

Búza fajta	Termés éve	Szemnedvesség (%)	Átlagos szárhosszúság (cm)	Szem-szalma arány
MV Süveges	2007.	6,7	86,4	1:1,8

1. táblázat. A vizsgált búza jellemzői

A hipotézisek igazolására modell mérőeszközöket terveztünk és építettünk.

A vékony rétegű cséplés (1. hipotézis) laboratóriumi vizsgálataihoz háromféle 30 cm munkaszélességű cséplődob-dobkosár egységet terveztünk és gyártottunk. Mindhárom dob lengő-tengely beépítésű volt, hogy a cséplés folyamata a szabad végen megfigyelhető legyen.

Az elsőt hagyományos, verőléces-kosaras kialakításban készítettük el. A dob külső átmérőjét 35 cm-re választottuk. (1. ábra).

A második mérőegység fogasdobos-fogaskosaras egység, a dob külső átmérője 35 cm, a fogak hossza 8 cm volt (2. ábra).



1. ábra. Verőléces-kosaras cséplő modellgép



2. ábra. Fogasdobos-fogaskosaras cséplő modellgép

A harmadik mérődobra lengő ujjakat szereltünk, a külső átmérő ezekkel 35 cm-re adódott (3. ábra). A hozzá tartozó kosár ebben az esetben is merev fogas kialakítású volt.



3. ábra. Lengő ujjakat szerelt dob fogas kosárral

A dobok betáplálását egy 30 cm szélességű, változtatható sebességű szállítoszalaggal végeztük. A szalag elülső vége fölé beteretelő motollát szereltünk (4. ábra). A szalag sebességét - a kombájnok szokásos munkasebességéhez igazodva - 2.0-2.2 m/s-ra választottuk. A szalagra olyan rétegben helyeztük a száras gabonát, hogy az megfeleljen az átlagos hozam esetén előálló tömegáramnak.



4. ábra. Az etető szalag a motollával

A termény fektetése mindig kalással előre történt, azért, mert a kialakítandó szerkezet így egy külön terményfordító – irányító egység nélkül működhet. A dobterhelést a szem – szalma tömegének mérésével állítottuk be. A megmért gabonát a szállítoszalagon a szalagsebességnek megfelelő hosszban osztottuk ki. Minden mérésnél megegyezett a terményelrendezés, és az etetési sebesség.

A cséplődobot háromfázisú villanymotorral hajtattuk meg, ékszíj közbeiktatásával. A fordulatszám változtatása inverter segítségével történt. A villanymotor áramfelvétele alapján határoztuk meg a csépléshez szükséges teljesítményt. Az átfolyó áramot és feszültséget egy adatgyűjtő számítógépre küldte, melyet egyszerű szövegfájlban rögzítettünk. Fordulatszám-mérésre opto – csatolót használtunk.

Minden cséplőszerkezetet három fordulatszámon mértünk. A mérést egyszer ismételtük. A kosárhézagot az előző kísérletek alapján optimálisnak ítélt méretre állítottuk be.

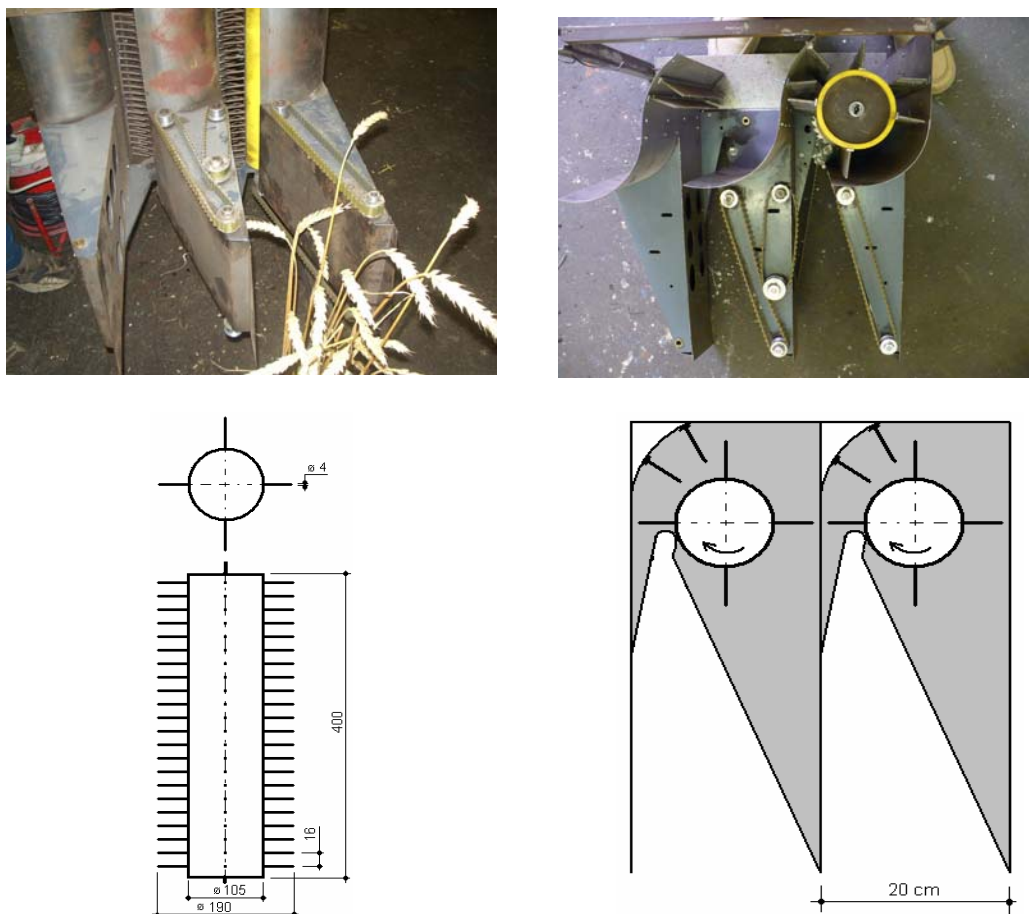
Mérés után elemeztük a kicsépeletlenséget, a törött szemek arányát és a szalma állapotát. A mérésre mindvégig ugyanazt a fajtájú gabonát használtuk, melynek jellemzőit az 1. táblázat mutatja.

A közvetlen kalászcseplés vizsgálatára két soros, függőleges tengelyű dobokkal szerelt modellgépet építettünk három változatban. A gép rendválasztói egymástól 20 cm távolságban vannak, közöttük történik meg a közrefogott száras gabonaállomány bevezetése a forgó tüskés dob és tüskés kosár közé, ahol megtörténik a kalászkicsépelése. A szemek a dob mögött vályúban gyűlnek, a kalásztól megfosztott szárok lábon állva maradnak vissza a tarlón.

A megdőlt állomány felemelésére és a szárok folyamatos, határozott bevezetésére bordás szalagokat alakítottunk ki a bevezető ékek felületén.

A gép munkaszélessége az egymás mellé helyezett 20 cm-es elemek egymás mellé építésével tetszőlegesen növelhető.

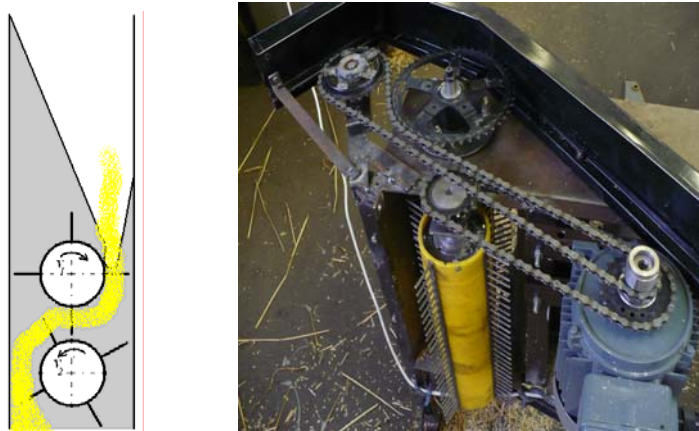
A modell első változatának kialakítása, valamint a cséplődobok és fogak elrendezése és méretei az 5. ábrán látható.



5. ábra. A kalászcseplő modell szerkezeti kialakításának vázlat

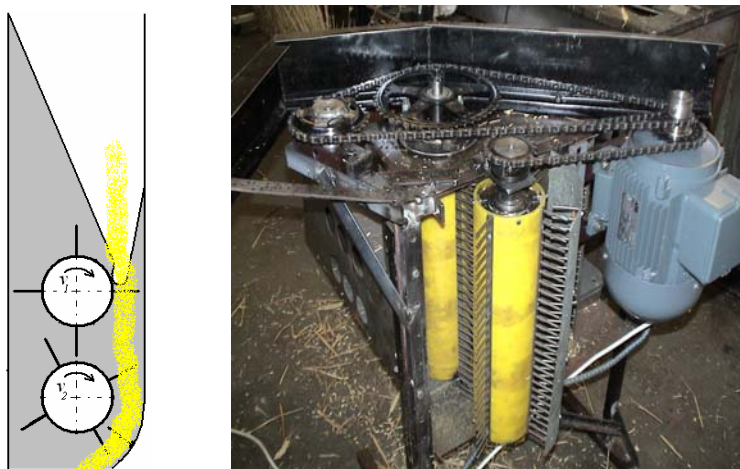
A kalászcseplő modell második változatában egy-egy 20 cm-es sávban két, az előbbivel azonos méretű cséplődobot helyeztünk el. A dobok közül az elülső kerületi sebessége a kombájnok szokásos üzemi sebességének 2-3-szorosa: ennek feladata a szárok behúzása és rávezetése a hátulsó, nagyobb fordulatszámú cséplő dobra. Ez utóbbinak a

forgásiránya ellentétes az előbbivel, így a cséplés a két dob között valósul meg a két dob kerületi sebességének különbségével törve a kalászokat. A hátsó dob – forgásiránya révén – hátrafelé dobja ki a szemet, pelyvát és töreket. Ennél a változatnál nincs szükség álló helyzetű fogakra (6. ábra).



6. ábra. Két, egymással szemben forgó cséplődobbal szerelt modell-változat

A harmadik kalászcseplő modellváltozatba ugyancsak két dobot építettünk, melyek közül az előlső, a behúzó dob kerületi sebessége a kombájnok szokásos üzemi sebességének 2-3-szorosa, míg a hátsó az elősővel azonos forgásirányú, de lényegesen nagyobb kerületi sebességű. A cséplés itt a hátsó dob és álló fogak között történik meg (7. ábra).



7. ábra. Két, egyirányú forgó cséplődobbal szerelt modell-változat

A kalászcseplő modellváltozatok etetésére szárbefogó kocsit készítettünk (7. ábra). A gördíthető eszköz 4 kereke két, 2 m hosszú lécet hordoz, melyek közé – habszivacs csíkok közbeiktatásával - gabonaszor volt rögzíthető (8. ábra). A szárakat olyan sűrűn helyeztük el egyenletesen a lécek között, hogy az 600 tő/m^2 állománysűrűségnek feleljen meg, vagyis folyóméterenként 120 növényt.



8. ábra. Etető eszköz a kalászcseplő modellgéphez

A három gépelrendezésnél beállított dob-kerületi sebességeket a 2. táblázat foglalja össze.

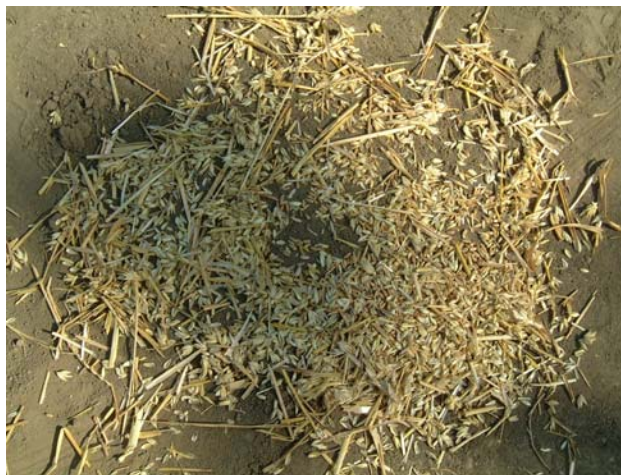
Mérés	Kalászcseplő elrendezés	Dobok kerületi sebességei: v1 és v2, m/s							
		1. mérés		2. mérés		3. mérés		4. mérés	
		v1	v2	v1	v2	v1	v2	v1	v2
1.	Egy cséplődob, 2 álló tűkesor	10,3							
2.	Két cséplődob, ellentétes forgásirányok	4,7	12,3	5,4	14,1	6,1	15,9	6,7	17,6
3.	Két cséplődob, azonos forgásirányok	4,7	12,3	5,4	14,1	6,1	15,9		

2. táblázat. A dobok kerületi sebességei a kalászcseplő modellgép három változatánál

A kétsoros modellgépet kerekre szerelve szabadföldön is kipróbáltuk. A dobokat ekkor 12 V egyenáramú villanymotorok hajtották, áramforrásként 55 Ah –ás akkumulátor szolgált (9. ábra). A dobok mögött a csévelt, összetört anyagrészeket összegyűjtöttük (10. ábra).



9. ábra. A modellgép szabadföldi vizsgálata



10. ábra. A cséplődob által összetört kalászkok és szárak

Eredmények és értékelésük

Vékony rétegű cséplés

A 3. táblázat a laboratóriumi vizsgálatok eredményeit foglalják össze. Mindhárom esetben a beállított fordulatszámok azonosak

Verőléces dob

Mérés száma	Adagoló szalag			Adagolt termény mennyisége (kg)	Terhelés (kg/s)	Cséplődob fordulatszám (1/min)	Cséplődob kerületi sebesség (m/s)	Cséplőrés (mm)		Teljesítmény felvétel (KW)	
	szélessége (m)	hossza (m)	sebessége (m/s)					elől	hátsó	minimum	maximum
1.	0,3	4,4	2,07	1,25	11,83	1102	20,19	5	1	0,82	1,37
2.	0,3	4,1	2,07	1,25	11,83	1280	23,46	5	1	1,08	1,59
3.	0,3	3,5	2,07	1,25	11,83	1489	27,28	5	1	1,19	2,37

Merevújas dob

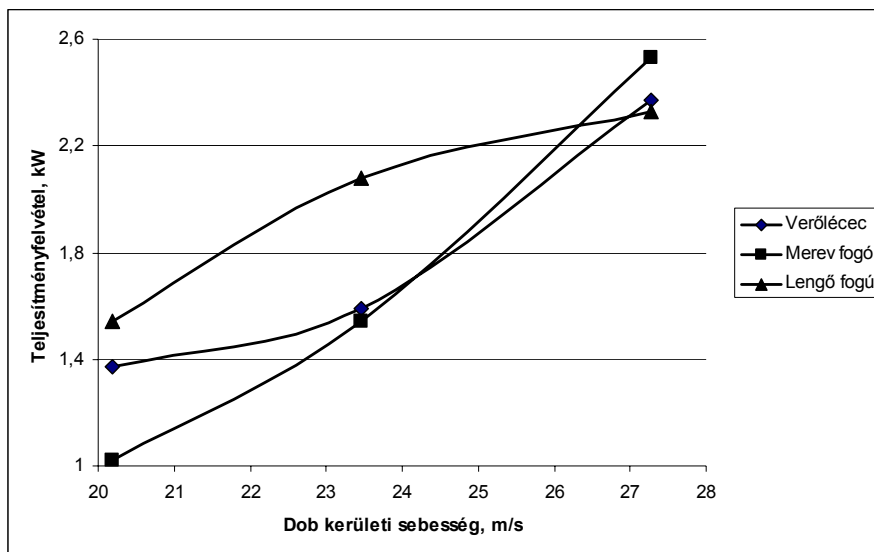
Mérés száma	Adagoló szalag			Adagolt termény mennyisége (kg)	Terhelés (kg/s)	Cséplődob fordulatszám (1/min)	Cséplődob kerületi sebesség (m/s)	Teljesítmény felvétel (KW)	
	szélessége (m)	hossza (m)	sebessége (m/s)					minimum	maximum
1.	0,3	3,4	2,07	1,25	11,83	1102	20,19	0,82	1,37
2.	0,3	3,4	2,07	1,25	11,83	1280	23,46	1,06	1,54
3.	0,3	3,5	2,07	1,25	11,83	1489	27,28	1,08	2,53

Lengőújas dob

Mérés száma	Adagoló szalag			Adagolt termény mennyisége (kg)	Terhelés (kg/s)	Cséplődob fordulatszám (1/min)	Cséplődob kerületi sebesség (m/s)	Teljesítmény felvétel (KW)	
	szélessége (m)	hossza (m)	sebessége (m/s)					minimum	maximum
1.	0,3	3,5	2,07	1,25	11,83	1102	20,19	0,83	1,01
2.	0,3	3,5	2,07	1,25	11,83	1280	23,46	1,05	2,08
3.	0,3	3,5	2,07	1,25	11,83	1489	27,28	1,05	2,33

3. táblázat. A három kísérleti dob mérési eredményei

A háromféle dobkialakítás teljesítményfelvételét a három kerületi sebesség esetén, minden esetben azonos etetési tömegáramnál a 11. ábra mutatja.



11. ábra. A három vizsgált cséplő modell teljesítményfelvétele a dob kerületi sebességének függvényében.

Közvetlen kalászcsepülés

Az 1. mérés (egy cséplődob, 2 álló tüskesor) szerinti elrendezésben a cséplődob kerületi sebességét 10,3 m/s-ra választottuk, a felvett teljesítmény ekkor. 450 – 500 W-ra adódott.

A modellgép munkaminőségét vizsgálva megállapítottuk, hogy

- nagy számban voltak jelen kicsépeletlen kalászek vagy kalászrészecskék
- a kicsépelt magvak 15-20 %-át a szerkezet a gép elé visszahordta

Az 5. ábra a kicsépeletlenség okát mutatja: a viszonylag alacsony kerületi sebességnél az álló és mozgó tüskék között a kalászek átjuthatnak.

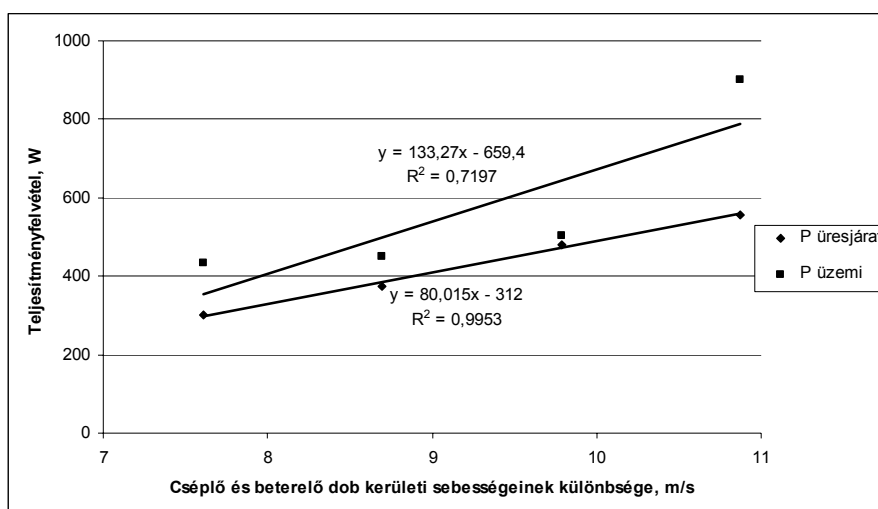


5. ábra. Kalász a cséplődob és álló tüskesor között

A magok visszahordását az álló tüskesoron való visszapattanásuk okozta.

A 2. és 3. mérési elrendezésnél ezért a cséplést az etetéstől távolabb, a gép belseje felé igyekeztünk eltolni.

A 6. ábra a 2. méréssorozat (két cséplődob, ellentétes forgásirányok) során felvett fordulatszám-teljesítményfelvétel érték-párokat mutatja üresjáratban és üzem közben. A pontokat lineáris regresszióval helyettesítettük, elfogadva az (1) összefüggésben foglaltakat.

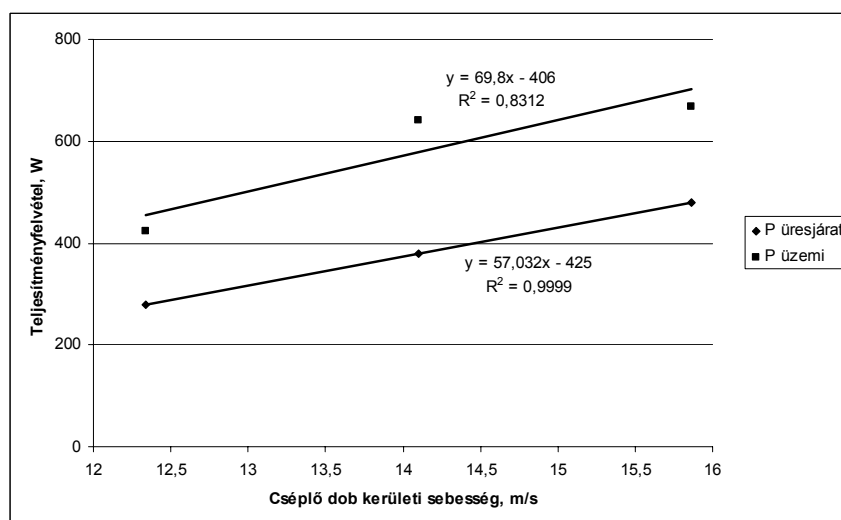


6. ábra. Szembe forgó tüskés dobok teljesítményfelvétele üresjáratban és terhelésnél a dobkerületi sebességek különbsége (v_1-v_2) függvényében

A két, szembe forgó dobos szerkezet cséplő munkája mind a négy kerületi sebességnél 100%-os volt: az összegyűjtött törmelék nem tartalmazott kicsépeletlen kalászt. A veszteségeket illetően lényegesen javult a helyzet az első méréshez képest: az előrehordás 5%-nyi értékre csökkent le.

A 7. ábra a 3. mérés eredményeit mutatja. A két azonos méretű tüskés dob ekkor azonos irányban forgott: az elülső, lassúbb kerületi sebességű által beadagolt szarakat a nagyobb fordulatszámú, hátsó dob nekilöki az álló tüskesorok, és azon a kalászokat szétveri.

Az azonos forgásirányú dobokkal történő cséplésnél a munkaminőség minden vizsgált kerületi sebességnél megfelelő volt: csak szemeket, pelyvát, töreket és szárdarabkákat tartalmazott a gép mögött összegyűjtött minta. Ennél az elrendezésnél ugyanakkor megszűnt az előrehordás: a cséplés gyakorlatilag veszteségmentesen valósult meg.



7. ábra. Azonos irányban forgó tüskés dobok teljesítményfelvétele üresjáratban és terhelésnél a cséplő dob kerületi sebességének függvényében

Következtetések

A vékonyrétegű cséplés mérései alapján megállapítható, hogy az agrotechnikai követelmények betartása mellett mindhárom esetben a hagyományos cséplési eljáráshoz képest (cséplés a kombájnon belül), a vágószélességre vetített teljesítmény igény megközelítőleg 30% – kal alacsonyabb. Az egyes cséplődobok teljesítmény felvétele nem mutat jelentős különbséget, egyedül a merev fogas dob teljesítményigénye ugrik ki a többi közül a legalacsonyabb beállított fordulatszámnál.

Az optimális beállítási adatokat nem sikerült egyértelműen megállapítanunk, ugyanis sem a kicsépeletlenség, sem pedig a szemtörés nem haladta meg az előírt értékeket, egyetlen beállításnál sem. Ez valószínűleg a mért termény nagyon alacsony nedvességtartalmának is köszönhető. A vékonyrétegű cséplésnek, mint új technológiai elemnek azonban mindezek ellenére létjogosultsága lehet. A következő, fejlesztési fázisban átalakított kombájn vágóasztalra szerelve lenne célszerű a megoldást kipróbálni.

A kalászcseplésre kialakított háromféle modell-elrendezés közül a két, azonos irányban, különböző kerületi sebességekkel forgó tüskés dobos szerkezet bizonyult a legkedvezőbbnek, mivel munkaminőség és vesztség szempontjából egyaránt megfelelő értékeket mutatott.

A 20 cm munkaszélességre vonatkozó legkedvezőtlenebb teljesítményfelvételt – 800 W-ot - alapul véve méterenként ez 4 kW teljesítményigényt jelent. További teljesítmény-nyereség az aratás, beterelés és felhordás elmaradása. A közvetlen kalászcseplési technológia tehát jelentős teljesítmény-megtakarítással kecsegtet a kombájnok hagyományos cséplőszerkezetéhez képest. Gyakorlati alkalmazása előtt azonban üzemi viszonyok között kell vizsgálni a bordás bevezető szalagok működését dőlt állományban, valamint meg kell oldani a cséplelt anyag szétválasztását, a szemek tisztítását.